



EEST MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Linne Johanna Timmerman

**JUUREERITISTE MÕJU MULLA
STRUKTUURIAGREGAATIDE STABIILSUSELE**
ROOT EXUDATES EFFECT ON SOIL AGGREGATE STABILITY

Bakalaureusetöö
Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendajad: professor Endla Reintam, *PhD*

Gheorghe Stegarescu, *PhD*

Tartu 2021

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Bakalaurusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Linne Johanna Timmerman		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Juureeritiste mõju mulla struktuuriagregaatide stabiilsusele			
Lehekülgi: 30	Jooniseid: 5	Tabeleid: 4	Lisaid: 0
Osakond / Õppetool: Mullateaduse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: B410 Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia			
Juhendaja(d): Endla Reintam, Gheorghe Stegarescu			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2021			
<p>Vahekultuure kasutatakse harimaks maad jätkusuutlikumalt ning suurendamaks mulla orgaanilise aine sisaldust. Mulla struktuursus ja selle stabiilsus on olulised mulla erosiooni vastupanuvõimele. Mulla agregaatide moodustumine ja selle stabiilsus on kompleksne ja paljude mõjuteguritega, mille hulgas üheks on juureeritised.</p> <p>Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida Eestis kasvatavate vahekultuuride juureeritisi ja võimalusel leida seos juureeritiste koostisosa ja juureeritiste mõju vahel. Uuriti rukki, talinisu, odra, rapsi ja kanepi juureeritiste koostiste funktsionaalrühmi FT-IR analüüsi abil, suhkrute koostist ning lämmastiku ja süsiniku sisaldust</p> <p>Viidi läbi eksperimentaalne katse, et uurida vahekultuuride juureeritiste mõju mulla struktuuriagregaatide stabiilsusele. Katsevariantideks olid erinevate kultuuride juureeritised ja inkubatsiooniperiood.</p> <p>Juureeritiste koostises sisaldus enim glükoosi ja galaktoosi. FT-IR analüüsi tulemused näitasid kõrget polüsahariidide neelduvust. Suuremad erisused olid koostises teraviljade, kanepi ja rapsi vahel. Juureeritiste keemilise analüüsi tulemustel oli statistiliselt usutavad.</p>			

Käesoleva bakalaureusetöö tulemused ei olnud ootuspärased ja juureeritiste stabiliseerivat mõju ei leitud. Visuaalsel hindamisel võis näha väikeste makroagregaatidel juureeritistega töödeldud proovidel stabiliseerivat efekti, kuid need ei oma statistilist usutavust proovi kogusest tulenevalt ja korduste vähesuse tõttu. Ei leitud ka seost juureeritiste koostise ja stabiliseeriva või destabiliseeriva mõju vahel.

Tulemuste põhjal võib öelda, et juureeritistel ainsana on väike mõju agregaatide stabiilsusele ja käesoleva katses mõjutasid arvatavasti teised tegurid nagu liiva ja savi sisaldus struktuursust rohkem. Põllu tingimustes avaldavad suuremad mõju arvatavasti mulla mikroorganismid ja nende koostoime juureeritistega.

Edasised uuringud on vajalikud, kasutades juureeritiste suuremat kontsentratsioone leidmaks juureeritiste mõju mulla agregaatide stabiilsusele.

Märksõnad: juureeritised, mullastruktuur, struktuuriagregaatide stabiilsus, vahekultuurid

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Bachelor's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Linne Johanna Timmerman		Curriculum: Production and Marketing of Agricultural Products	
Title: Root exudates effect on soil aggregate stability			
Pages: 30	Figures: 5	Tabeleid: 4	Lisasid: 0
Department / Chair: Soil Science			
Field of research and (CERC S) code: B410 Soil science, agricultural hydrology			
Juhendaja(d): Endla Reintam, Gheorghe Stegarescu			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2021			
<p>Cover crops are used to cultivate the land more sustainably and to increase the organic matter content of the soil. Soil structure and its stability are important for soil erosion resistance. The formation of soil aggregates and its stability is complex and with many influencing factors, including root exudates.</p> <p>The aim of this bachelor's thesis was to study the root exudates of cover crops grown in Estonia and, if possible, to find a connection between the root exudates ingredient and the effect of root exudates. The compositions of rye, winter wheat, barley, oilseed rape and hemp root exudates were analyzed by FT-IR analysis for functional groups, sugar composition and nitrogen and carbon content analysis.</p> <p>An experimental experiment was conducted to explore the effect of cover crop root exudates on the stability of soil structural aggregates. Treatments were different plant exudates and incubation time.</p> <p>The root exudates contained the most glucose and galactose. The results of FT-IR analysis showed high absorbance of polysaccharides. The biggest differences were between cereals, hemp and rapeseed. The results of the chemical analysis of the root secretions were statistically significant.</p>			

The results of this bachelor's thesis did not confirmed hypothesis and no stabilizing effect of root exudates was found. Visual evaluation showed a stabilizing effect on small macroaggregates samples treated with root exudates, but they did not had statistical significant effect due to the small number of replicates because of the sample size. No association was found between the composition of the root secretions and the stabilizing or destabilizing effect.

Based on the results, it can be said that root exudates alone have a small effect on the aggregates stability, and in the present experiment other factors such as sand and clay content probably influenced the results more. Under field conditions, soil microorganisms and their interaction with root secretions are likely to have a greater effect.

Further studies using higher concentrations of exudates is needed to find the effect of root exudates on the stability of soil aggregates.

Keywords: root exudates, mucilage, soil structure, soil aggregate stability, cover crops

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	9
1.1. Vahekultuuride mõju mullale	9
1.2. Külvikorra mõju mullale	10
1.3. Juureeritistest ülevaade	11
1.4. Juureeritiste kogumise võimalused	12
2. MATERJAL JA METOODIKA	14
2. 1. Materjali kogumine	14
2. 3. Katse ülesehitus	15
2. 4. Juureeritiste keemiline analüüs	16
2. 5. Mullaagregaatide stabiilsus	18
2. 6. Andmeanalüüs	19
3. TULEMUSED	20
3. 1. Juureeritiste keemiline koostis	20
3. 2. Agregaatide stabiilsus	22
4. ARUTLUS	24
KOKKUVÕTE	27
KASUTATUD KIRJANDUS	28
LISAD	32
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks (avaldamise tähtajaline piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta	33

SISSEJUHATUS

Vahekultuuride kasutamine on populaarsemaks muutunud harimaks maad jätkustulikumalt ja kaitsta mulda aina muutlikuma ilma eest. Taimiku nagu vahekultuuride kasvatamise eesmärk on ka mulla orgaanika tõstmine, mille läbi tõuseb mulla pH ja kasvab mulla veehoiuvõime ning struktuursus (Luik *et al.*, 2014). Mullastruktuursuse üheks näitajaks on struktuuriagregaatide stabiilsus, mis näitab mulla vastupanuvõimet tuule ja vee erosioonile. Mulla struktuuriagregaatide stabiilsust mõjutavad mulla struktuur, orgaaniline aine ja kliima ning on leitud ka, et juureeritised ja nende koostoimel mikroorganismidega mõjutavad mulla stabiilsust (Morel *et al.*, 1991).

Kui mitmetest katsetest järeldub (Akhtar *et al.*, 2018; Reid & Goss, 1981) juureeritiste stabiliseeriv efekt siis Sanchez de Cima (2016) doktori töös märgati vahekultuuride destabiliseerivat efekti, millest tulenevalt uurime, kas võib mõnel taimel olla ka destabiliseeriv efekt.

Juureeritiste uurimine võib anda võimalusi taime aretuses, et taimede toitainete omastamist efektiivsemaks muuta ning seega saab vähendada väetiste vajadust ning aretada kahuritele vastupidavamaid taimi (Preece & Peñuelas, 2020).

Juureeritiste kogused on väga väikesed ja nende kogumisel on palju raskuseid nagu millistest tingimustes taim kasvab, ja on mitmeid eri lahendusi loodud juureeritiste kogumiseks kuid ei ole ühte suunda või lahendust, mis oleks parim võimalik variant.

Käes oleva töö eesmärgiks on tuua teema Eesti konteksti ja uurida Eestis kasvatavate vahekultuuride juureeritiste mõju mullaagregaatide stabiilsusele. Töös uuritakse rukki (*Secale cereale*), odra (*Hordeum vulgare*), talinisu (*Triticum aestivum*), rapsi (*Brassica napus*) ja kanepi (*Cannabis sativa*) taimede juureeritisi. Uurida eelnevalt märgatud destabiliseeriva efekti, kas see võib olla liigispetsiifiline või sõltub mõnest mulla parameetrist.

Esimene töö hüpotees: Vahekultuuride juureeritised suurendavad muldade struktuuriagregaatide stabiilsust.

Teine töö hüpotees on: Juureeritiste destabiliseeriv efekt mulla struktuurile on liigispetsiifiline.

Üheks uurimustöö eesmärgiks on ka uurida vahekultuuride juureeritiste koostis ja vaadata, kas on võimalik leida seos taime juureeritite mõju ja koostise vahel.

Soovin avaldada tänu oma juhendajatele professor Endla Reintamile ja Gheorghe Stegarescule, kes vastasid mu küsimustele, andsid nõu ning tuge bakalaureusetöö valmimisel. Veel tahan tänada agroökosüsteemide biogeokeemia osakonda, Göttingeni Georg-Augusti ülikools, Saksamaal, kust saime abi juureeritiste suhkrute keemilise koostise uurimisel.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Maailma rahvastik aina kasvab, kuid põllumajanduslikult haritavat maa hulk jääb sarnastesse piiridesse, mida tuleb aina efektiivsemalt ja ka jätkusuutlikumalt kasutada. Üheks abivahendiks võib olla vahekultuuride külvikorda lisamine, mis säilitab või parandab mullastruktuursus ja vähendab toitainete leostumist (Barão *et al.*, 2019). Vahekultuurid võivad leevendada keskkonda väetiste saastest kui seovad need ning ka paranda intensiivse harimisel tagajärjel mulla viljakuse vähenemist (García-González *et al.*, 2018).

Eestis on vahekultuuride kasvatamine tõusnud talve kuude aina soojemate temperatuuride (Kallis *et al.*, 2019) tõttu, et katta mulla pinda.

1.1. Vahekultuuride mõju mullale

Vahekultuuride kasutamine on populaarsemaks muutunud mahepõllumajanduses, et efektiivsemalt kasutada agroökosüsteemisiseseid ressursse ja säilitada elurikkust. Orgaanilise väetisena on mahepõllumajanduses oluline osa haljasväetistel, mille hulka kuuluvad ka vahekultuurid (Talgre, L. *et al.*, 2015). Orgaanilise ainega mulla huumusesisalduse tõstmine parandab mulla struktuursust ja veesidumisvõimet ning toitainete sisalduse kasvuga kahaneb mulla happesus (Luik *et al.*, 2014). Samuti tõstab vahekultuuride kasvatamine mikrobiaalset aktiivsust ja elurikkust põllul (Sanchez de Cima, 2016). Orgaaniliste väetiste aeglasel ja ühtlasel lagunemisel saavad järgnevad kultuurid toitaineid ühtlasemalt (Talgre, L. *et al.*, 2015).

Vahekultuurid vähendavad umbrohtumust, mille efektiivsus oleneb vahekultuurina kasvatatava taime liigist (Talgre, L. *et al.*, 2015). Mõnel kultuuril nagu rukis on suurem allelopaatiline mõju ehk umbrohtuseemnete tärkamist mahasuruv toime kui teistel taliteraviljadel (Reiss *et al.*, 2018; Talgre & Luik, 2018). Vahekultuurid võivad ka oma massiga lämmatada umbrohu taimi ja talvel hukuvad vahekultuurid toimivad edasi multšina, vähendades maa pinnal tärkavate umbrohtude valguse kättesaamist (Talgre & Luik, 2018).

Veerežiimile avaldavad vahekultuurid positiivset mõju suurendades veehoiuvõimet, veeläbilaskvust ja parandavad vee infiltratsiooni, mis vähendavad liigniiskuse teket ja loovad soodsa pinnase järgnevatele kultuuridele (Talgre, L. *et al.*, 2015; García-González *et al.*, 2018).

Vahekultuure saab kasvatada ühe taimeliigina kui ka seguna, et vähendada kasvuriske erinevate ilmastiku tingimuste osas. Vahekultuure võib erineval viisil külvikorda viia, nagu alla külviga või puhaskülvena talvise või suvise vahekultuurina või haljasväetisena põhikultuurina (Talgre & Luik, 2018). Vahekultuurina kasvatatakse palju liblikõielisi nende

lämmastiku sidumis võime tõttu, nende seast on levinuim punane ristik (*Trifolium pratense* L.) kuid ka hernes (*Pisum sativum* L.) ja põlduba (*Vicia faba* L.). Seguse lisatakse ka talvituvaid kultuure, et hoida talvel ja kevadel mullapind kaetuna, levinumad liigid on talirukis (*Secale cereale* L.) ja taliraps (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). Kasvatatakse ja lisatakse segudesse palju liike, mis ei talivitu, milleks võivad olla õlirõigas (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.), kesaredis (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*), harilik tatar (*Fagopyrum esculentum* Moench) või suvivikk (*Vicia sativa* L.) (Talgre & Luik, 2018).

Rukki kasvatamine vähendab toitainete leostumist ja varieeruvalt vähendavad kõik vahekultuurid ja samal ajal tõstab ka mulla süsiniku sisaldust (Foltz *et al.*, 2021; Talgre & Luik, 2018). Kesaredist saab kasutada minimeeritud mulla harimisel kobestamaks mulda, kuna taim tungib oma suure ja tugeva peajuurega sügavale mulda (Chen & Weil, 2010; Talgre & Luik, 2018).

Talvised vahekultuurid mõjutavad positiivselt mullaagregaatide stabiilsust ja mulla veesidumisvõimet, mis muudab mulla vastupidavamaks põua suhtes (Talgre & Luik, 2018).

1.2. Külvikorra mõju mullale

Külvikorra eesmärk on luua kultuurtaimede kasvuks soodne keskkond. Esmatähtis on külvikorra loomine maheviljeluses, kus see on peamine vahend säilitamiseks ja parandamiseks mullaviljakust ning seeläbi ka saagikust, samuti ka hoidmaks kontrolli all umbrohtumust (Luik *et al.*, 2008; Palmeos, 2014). Külvikorral tuleb jälgida mullastiku ja kultuuride vahelumist, et haiguste levikuid piirata.

Külvikorras kasvatatakse peale põhikultuuride liblikõielisi taimi kasvatamiseks mulla orgaanilist ainet ja parandada mulla struktuuri (Luik *et al.*, 2008). Liblikõieliste juurtel elavad mügarbakterid seovad õhulämmastiku ja nende juured tungivad sügavale, kust omastavad ja toovad haritavasse mullakihti ka mineraalaineid (Talgre & Luik, 2018). Juured vähendavad mulla tihedust ning andes ka järgnevatele kultuuridele võimaluse neid juure kanaleid müüda sügavamale mulla kihtidesse jõuda või annab võimaluse vee liikumiseks (Luik *et al.*, 2008). Vahekultuurina kasutatav õlirõigas oma tugeva sammajuurega parandab mulla struktuuri, samas toob sügavamalt mullakihist vett ja toitaineid ning surub alla ka umbrohte (Talgre & Luik, 2018). Juurte tekitatud makropooride lihtsustavad ka vee ja õhu liikumist mullas (Angers & Caron, 1998).

Mitmed uuringud (Jensen *et al.*, 1996; Li *et al.*, 2017; Morel *et al.*, 1991) on täheldanud juureeritiste stabiliseerivat mõju mulla agregaatide stabiilsusele kuid Sanchez de Cima (2016) doktoritöös märgati hoobis vastupidist efekti. Katses oli vahekultuurideta kontroll variandil mullaagregaatide stabiilsus kõrgem kui vahekultuuridega ja ka vahekultuuride ning sõnnikuga variandil (Sanchez de Cima, 2016).

Vaadates lähemalt mulla struktuuri, mis koosneb erineva suurusega agregaatidest ja nende vahelistest pooridest, mille vahel liigub õhk ja vesi (Lal & Shukla, 2004). Mullastabiilsus on üks mullastruktuursuse näitaja, mis väljendab mulla vastupanu võimet mulla vee ja tuule erosioonile (Li *et al.*, 2017). Mulla stabiilsust mõjutavad mitmed faktorid nagu mulla struktuur ja orgaaniline aine, kliima ja mikroobide aktiivsus (Morel *et al.*, 1991). Mulla stabiilsus on oluline üldiselt ka agregaatide ja struktuuride moodustamisele ning ka poorsusele ja toitainete liikumisele (Redmile-Gordon *et al.*, 2020). Mitmed uuringud on keskendunud juureeritiste mõjule mulla agregaatide stabiilsusele ja selle mõju ka leidnud (Czarnes *et al.*, 2000; Morel *et al.*, 1991; Naveed *et al.*, 2018).

1.3. Juureeritistest ülevaade

Taime aretus on keskendunud põhiliselt taime maapealsete osade arengule nagu saagikuse tõstmisele, mille kasvatamise eelduseks on vee ja toitainete piiramatult juurdepääs. Kliimamuutusega kaasnevad heitlikumad ilmaolud vajavad aga aina vastupidavamaid taimi. Preece & Peñuelas (2020) pakuvad välja uurida kultuuride metsikuid sugulasi, et leida sealt kasuliku geneetilist materjali aretamaks taimi, mis kasutaks efektiivsemalt toitaineid ja moodustaks taimele kasuliku mikrobiaalse keskkonna. Samuti vähendamaks pestitsiide kui taimi aretades keskenduda juureeritistele, mis meelitavad ligi kasulike putukaid.

Juurest eralduvad orgaanilised ühendid nagu risodeposiidid, mille hulka kuuluvad ka juureeritised (Nguyen, 2003). Juureeritiseid eristatakse nende omaduste ja molekulaarmass järgi, suure molekulmassiga ühendeid nimetatakse lahustamatuteks eritisteks (ka limaks) ja väiksemaid ühendeid nimetatakse lahustuvateks eritisteks (Traoré *et al.*, 2000). Juureeritised sisaldavad suures osas neutraalseid ja happelisi polüsahhariidide (94%) ja valke (6%) ning väikeses koguses fosfolipiididest ja fenoolhapetest (Carminati & Vetterlein, 2013).

Juureeritised põhustavad bioloogilisi ja füüsikalisi-keemilisi muutusi risosfääris, mis mõjutab mikroobide aktiivsust, mõjutades ka mikroobide kooslust ja selle kasvu (Benizri *et al.*, 2007) ja mullaagregaatide moodustumist ning struktuuri agregaatidestabiilsust (Oleghe *et al.*, 2017; Traoré *et al.*, 2000). Juureeritiste kogused, mida taim eritab kahaneb taime vananedes ja kasvab

stressi ilmnedes nagu põud või vähene toitainete varu mullas (Neumann *et al.*, 2014; Aulakh *et al.*, 2001).

1.4. Juureeritiste kogumise võimalused

Põhiliselt on uuringud kasutanud hüdropoonikal taimekasvatamise meetodit ja sellelt juureeritiste kogumist, sest looduslikes tingimustes tarvivad mikroorganismid selle kohe ära või imendub mulda ja mõju tegureid on palju, mida arvestada.

Hüdropoonikal taime kasvatus lahendusi on erinevaid ja meetode, kuidas neilt juureeritisi koguda samuti. Põhiliselt võib neid jagada kaheks, kus esimesel kasvatatakse taime toitaine lahuses, kus juureeritiste kogumiseks asetatakse taime juured juureeritiste kogumiseks mõnda lahusesse. Võimalus on ka teatud segmentidele juurestikus umber panna väikesed kambrikesed, millesse toitelahus ei pääse kuid juureeritised võiksid koguneda (Oburger & Jones, 2018). Selline lahendus võib tekitada taimele mehaanilist stressi, mille võib olla mõju juureeritistele. Teisel juhul püütakse taimele mulla sarnast keskkonda pakkuda liiva või perliidi näol ja toitaine lahusega kastetakse pinnast. Mulla sarnases keskkonnas kasvatatavalt taimelt on aga raskem juureeritisi koguda.

Vähem kasutatakse aeropoonikat, kus taimi kasvatades pihustatakse vett või toitelahust juurepiirkonda õhku. Selline taimekasvatus tehnika sobib pigem idanditele ja ilma juuri kahjustamata ning aega nõudva käsitööga on lahendus juureeritiste kogumiseks loodud, kus tsentrifugaaljõu abil eraldatakse juureeritised ja kogutakse (Zickenrott *et al.*, 2016).

Eelised seisnevad võimaluses uurida vaid juureeritisi ilma mulla ja mikroorganismide mõjuta ning uurimised üldjuhul ei kahjusta juuri. Puudused on seotud samuti mulla ja mikroorganismide mõjutusega, sest selle võrra on raskem luua seoseid põllul toimuvaga.

Võimalusi rohkem realsematest tingimustest juureeritisi koguda on ka mõni. Üks on kasvatada taim mullas ning juureeritisi koguda sarnasel hüdropoonikal kasutades ja eelnevalt pesta mullast juured puhtaks.

Vanematel töödel ei ole metoodikas steriilsust püütud saavutada kuid see, olenevalt eesmärgist, on oluline kuna mõjutab mikroorganismide tekke võimalusi juurestiku ning seega mõjutab tulemusi (Kuijken *et al.*, 2015). Hüdropoonikal kasvatatud taime juureeritised ei ole mõjutatud mikroorganismidest ja mulla maatriksist ja kõigest, mis võib juureeritiste kogust ja koostist mõjutada, mis toob esile lõhe laabori katsete ja põllul toimuva vahel, mida näitlikustab ühe uurimustöö järeldus, et toitaine lahuse koostis võib juba juureeritiste koostist ja kogust

mõjutada (Rovira & Ridge, 1973). Seetõttu võivad mullal kasvatatud taimedelt kogutud juureeritised anda reaalsema tulemuse (Oburger & Jones, 2018).

2. MATERJAL JA METOODIKA

Katsed teostati Eesti Maaülikooli Mullateaduse õppetooli laboris 2020 sügisest 2021 aasta kevadeni. Juureeritiste suhkrute analüüsid teostati Saksamaa Göttingeni Georg-Augusti ülikooli agroökosüsteemide biogeokeemia osakonnas. Juureeritised koguti Eestis kasvatavatelt vahekultuurtaimede idandatud seemnetelt ja teostati katse segades juureeritised mullaga ning määrati mullastabiilust.

2. 1. Materjali kogumine

Juureeritiste kogumiseks kasvatati seemneid aeropoonikal, mis lähtus Zickenrott *et al.*, (2016). Katses kasutati vahekultuuride seemneid nagu rukis (*Secale cereale*), oder (*Hordeum vulgare*), raps (*Brassica napus*), kanep (*Cannabis sativa*) ja nisu (*Triticum aestivum*). Seemned desifitseeriti vesinikperoksiid 10% lahusega ja kõik juureeritiste kogumiseks kasutatud materjalid puhastati etanooliga, et vältida bakterite ja seente nakkust. Eelnevalt kaaluti 1000 tera mass ja olenevalt seemne suurusest otsustati ühele restile seemne mass (Tabel 1). Seemned seisis 10% H₂O₂ lahuses 10 minutit ja seejärel 5 minutit loputati steriliseeritud vees. Seemned jaotati ühtlaselt alumiinuumist restidele, avadega 0,7 x 0,8 mm ning mõõtmetega 370 x 260 mm.

Tabel 1. Kultuuride tuhandeteramass ja seemne kogus restile.

Taime liik	Tuhande tera mass, g	Seemneid restile, g
<i>Secale cereale</i>	49	30
<i>Hordeum vulgare</i>	46	30
<i>Brassica napus</i>	4,5	20
<i>Cannabis sativa</i>	13	15
<i>Triticum aestivum</i>	37	25

Seemneid kasvatati restidel plastikkastides, milles oli destilleeritudvesi ja õhupump juurtele vajaliku niiskuse andmiseks. Resti kõrgus kastipõhjast oli 10 cm ja destilleeritud vee lisamisel jäi resti ja vee vahele 8 cm, jättes ruumi juuretele, et need veeni ei jõuaks. Õhupump niisutas juuri, pumbates õhku läbi vee ja õhukivide. Kast oli kaetud kaanega, et säilitada õhuniiskust kastis. Kastid hoiti toatemperatuuri.

Juureritisi hakati koguma kui juured olid 4-7 cm pikkused, milleks kulus seemne tärkamisest 3 kuni 5 päeva. Juureeritiste kogumiseks tõsteti rest taimedega kastist välja ja juurte otsast imeti läbi plasttoru Büchneri lehteris olevasse 15 ml katsetopsi, mis oli ühendatud vaakum pumbaga. Juureeritised säilitati -22 °C ja külmkuivatati -55 °C juures. Kuivatatud juureeritisi säilitati -80 °C enne järgneva katseid.

Muld, mida järgneva katseks kasutati koguti kerge liivsaviõimisega näivleeturud mullalt (LP) ning lasti toatemperatuuril kuivada. Muld purustati võimalikult peeneks ja sõeluti läbi 0,5 mm või 0,25 mm sõelte ning katse jaoks võeti kasutusele vaid muld kuni 0,25mm osakeste suurusel. Järgnevalt mõõdeti ja arvutati lasuvustiheduseks 1,128 g/cm³ ja väliveemahutavuseks 27% (kaaluprotsentides), mis mõõdeti pärast mulla murentamist ning võis mõjutada tulemust ning teised mulla parameetrid määrati keskmisest proovist (Tabel nr 2).

Tabel 2. Esialgse mulla parameetrid

pH _{KCl}	N*	C*	P	K**	Mg	Ca**	>0.063	<0.02	0.02-0.063
	%		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	%		
5,8	0,1	1,1	13,3	8,8	6,3	102,7	56,7	14,0	29,3

*Mulla üldlämmastik ja üldsüsinik määrati kuivpõletamisel elementaalanalüsaatoris.

** Mulla taimetele kättesaadavad elemendid määrati Mehlich-3 meetodikaga.

2. 3. Katse ülesehitus

Steriliseeritud mullaga täideti 88 cm³ roostevabast terasest silindrid, mis asetati 250 ml plastikkarpidesse ja mulda silindri kohta kasutati 100 g. Eelnevalt puhastati silindrid ja kasutatavad töövahendid etanooliga. Muld segati silindris kuivatatud juureeritistega, mille kogus arvutati läbi süsiniku (C) sisalduse. Silindri kohta arvestati 6mg süsinikku (Tabel nr) (60µ C mulla g⁻¹), mis on sarnane Benizri *et al.* (2007) teostatud katsega.

Tabel 3. Juureeritiste kogused ja süsiniku sisaldused

Taime liik	Keskmine juureeritiste kogus resti kohta, ml	Juureeritiste kuiv mass resti kohta, mg	Juureeritiste kogus juuretipu kohta, µg	Kuivaine juuretipu kohta, µg	Kuivaine, %	Süsiniku sisaldus, %	Süsinik silindri kohta, mg	Kuiv juureeritised silindri kohta, mg
Raps	1,66 (±0,08)	16,02(±1,94)	2,88(±0,17)	24,56(±2,97)	0,91(±0,11)	36,47	6	16,45
Rukis	1,62 (±0,05)	1,96(±0,29)	1,12(±0,08)	1,70(±0,25)	0,16(±0,02)	36,76	6	16,32
Kanep	1,29 (±0,10)	9,81(±2,95)	0,37(±0,02)	2,21(±0,66)	0,53(±0,11)	32,04	6	18,73
Oder	1,88 (±0,11)	8,81(±4,09)	2,64(±0,08)	14,39(±6,68)	0,91(±0,11)	38,07	6	15,76
Nisu	1,52 (±0,12)	18,74(±13,73)	2,25(±0,17)	27,73(±20,32)	0,16(±0,02)	37,43	6	16,03

Destilleeritud vett valati karpi lastes aeglaselt mullal niiskuda ja veekogus sõltus mulla väliveemahutavusest (27% kaaluprotsentides). Katse koosnes kuuest erinevast mulla töötlustest ja neljast eri inkubatsiooniperioodist nelja kordusega toatemperatuuril (23°C). Neli töötlust nelja erineva inkubatsiooniperioodiga (3, 7, 15, 20 päeva): kontroll (0), mullaga segatud rukki juureeritised (I), mullaga segatud talinisu juureeritised (II), mullaga segatud odra juureeritised (III). Üks töötlus inkubatsioon kolme eri perioodiga (3, 7, 15 päeva): muld segatud rapsi juureeritistega. Veel üks töötlus inkubatsiooniperioodiga 15 päeva: muld segatud kanepi juureeritistega. Inkubeeritud proove hoiti pimedas ruumis 23°C juures, lastes proovidel aeglaselt niiskuda.

2. 4. Juureeritiste keemiline analüüs

Juurtelt kogutud juureeritiste suhkrute koostis määrati gaasikromatograafiliselt Nazari *et al.*, (2020) kirjeldatud meetodi järgi (Agilent 7820A GC, Agilent Technologies, Waldbronn, Saksamaa) ja tuvastati mass-spektomeetria abil (Agilent 5977B, Agilent Waldbronn, Saksamaa). Konstantse voolukiirusega 1.1 ml min⁻¹ heeliumi kasutati kandegaasina OV 17-MS kapillaarkolonnis (Macherey Nagel, Düren, Saksamaa, 30 m pikkus, 250 µm sisemine läbimõõt, 0.25 µm paksune kile). Külmkuivatatud juureeritisi happe hüdrolyüsiti 10 ml 4 M trifluoroäädikhappes (TFA) ja esimese sisemise standardina lisati 0,05 mg allosi ning seejärel kuumutati proove ahjus 8 tundi temperatuuril 105 °C. Proovid filtreeriti ja viidi koonuselistesse kolbidesse. TFA eemaldati kuivatamisel rotaatoraurustis (40 °C, 30 mbar juures). Proovid viidi reaktsioonianumatesse ja kuivatati puhtas lämmastikuvoos. Lisaks lahustati proovid uroonhapete jaoks 0,5 ml millipoorvees ja 0,25 ml alikvooti kanti uude reaktsioonianumatesse. Pärast seda kõik proovid kuivatati uuesti lämmastikuvoos. Teisi kuivatatud proove hoiti sügavkülmas uroonhapete analüüsiks.

Välise standardite jaoks koostati põhilahus 0,5 mg ml⁻¹ alloosist (D +), arabinoosist (D–), fukoosist (L–), galaktoosist (D +), glükoosist (D +), mannoosist (D +), ramnoosist (L +), riboosist (D–) ja ksüloosist (D +). Välisest standard põhilahusest seitse kogust (10 µl kuni 800 µl) pipeteeriti reaktsiooni anumatesse ja kuivatati lämmastikuvoos. Proovid ja välised standardid derivatiseeriti 0,3 ml derivatiseerimisreaktiiviga (32 mg hüdro hüdroksüülamiinvesinikkloriidi ja 40 mg 4- (dimetüülamino) püridiini püridiini:metanoolis (4: 1)) ja kuumutati 30 minutit temperatuuril 75-80 °C. Pärast jahutamist lisati äädikhappe andütriidi 1ml ja uuesti kuumutati 30 minutit temperatuuril 75-80 °C. Pärast jahutamist lisati kõigepealt 2ml dikloroetaani, seejärel 1 ml 6M HCl mille järgi vesifaas eemaldati kolm korda, lisades 1ml puhastatud vett peale igat eemaldamist. Seejärel proovid filtreeriti läbi 3ml

kolonnidega täidetud klaaskiufiltrite ja 2 cm Na₂SO₄ Bakeri süsteemi. Filtreeritud lahus kuivatati õrna lämmastikuvoolu all. Peale iga proovi kuivatamist lisati sisestandardlahusena 2 metüülrühma tridekanoaadiga ja 185 µl etüülatsetaathexaani (1:1) ja viidi GC nõudesse. Iga taimeliigi juureeritised määrati kuues korduses.

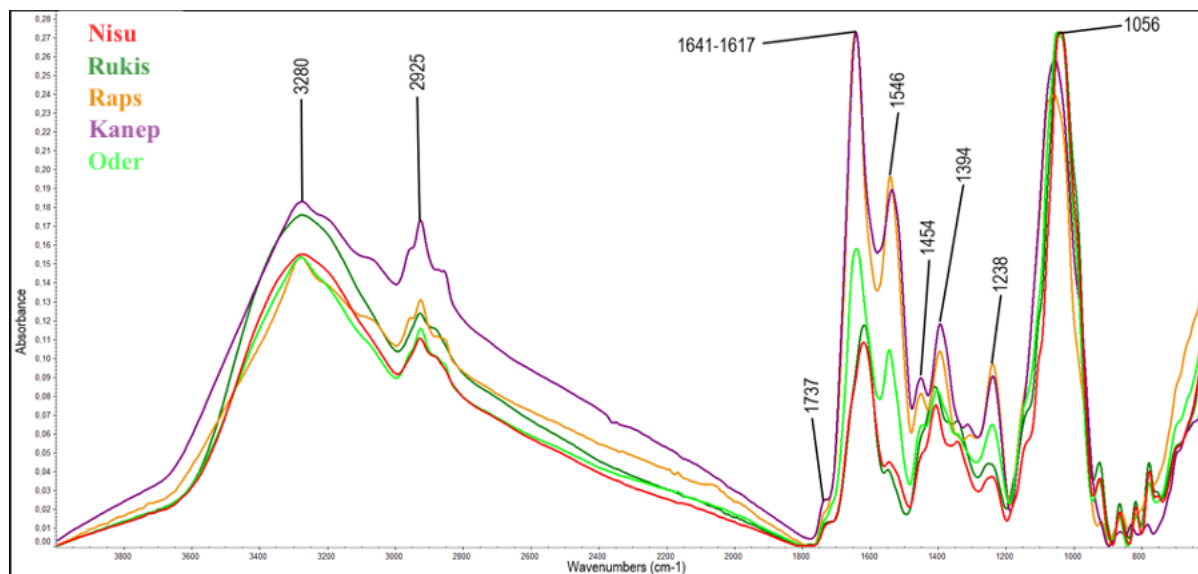
Uroonhappete analüüsi jaoks määrati järgneval viisil uroohapete sisaldus juureeritistes. Väliste standardite jaoks pipeteeriti reaktsioonianumatesse viis kogust (10 µl kuni 500 µl) põhilahusest, mis sisaldasid 1 mg ml⁻¹ galakturoonhapet, gükuroonhapet ja 3-O-metüülglikoosi. Teised proovid, mis säilitati sügavkülmas uroonhappete analüüsiks võeti välja ja soojendati toatemperatuuril ning lahustati 0,2 ml N-metüüli-2-pürrolidoonis koos väliste standarditega (NMP). Seejärel lisati 0,2 ml metoksüamiinvesinikkloriidi lahust ja kuumutati 75°C juures 30 minutit. Pärast toatemperatuuril jahutamist lisati 0,4 ml N,O-bis(trimetüülsilüül)trifluoroatsetamiidi ja kuumutati taas 75°C juures 5 minutit. Enne proovide kandmist GC viaalidesse lisati sisemine standard 2 (50 µl pentadekaan 1 mg ml⁻¹). Proovid eraldati gaasikromatograafiliselt vastavalt Nazari *et al.* (2020) kirjeldatud metoodikale.

Kogu süsiniku ja üldlämmastiku sisaldused määrati 1 mg külmkuivatatud juureeritise põhjal. Analüüsid viidi läbi Elementar vario EL kuumianalüsaatoris (Elementar Analysensysteme GmbH, Langenselbold, Saksamaa).

FT-IR spektroskoobi juureeritiste analüüs

Väike kogus külmkuivatatud juureeritiste biokeemilist koostist analüüsiti Fourier' teisendusega infrapunaspetskoobi (FT-IR, Thermo-Nicolet iS10, Thermo Fisher Scientific, MA, USA) abil. Andmed koguti 4 cm⁻¹ eraldusvõimega vahemikus 4000 kuni 400 cm⁻¹. Iga proovi jaoks tehti 32 skaneeringut kahes korduses. Spekter korrigeeriti välisõhu tausta abil ja rakendati automaatne baasjoone korrigeerimine (Joonis). Tippude kõrgused saadi tarkvara OMNIC abil (Nicolet Instruments Corp., Madison, WI, USA). Suhteline neeldumine mõõdeti vastavalt kirjeldatud meetodile (Gerzabek *et al.*, 2006). Suhteline neelduvus (RA) arvutati jagades erineva tippu kõrgus kõigi tippude kõrguste koguarvuga. Spektri analüüsil jõuti tõlgendusteni: joone 3200 cm⁻¹ juures määrati hüdroksüülrühmale (O-H) (Alemdar & Sain, 2008). Järgmine tipp 2925 cm⁻¹ juures CH₂ asümeetriline joone osa tähistab lipiidide (Türker-Kaya & Huck, 2017). Väike neelduvus 1737 cm⁻¹ juures tähistab küllastunud estreid (Pappas *et al.*, 1998; Sain & Panthapulakkal, 2006). Tipp vahemikus 1600 kuni 1650 cm⁻¹ tähistab amiide I, mis kirjeldavad valke ja pektiini (Türker-Kaya & Huck, 2017). Valke kirjeldab neeldumise järgi tipp 1545 cm⁻¹ ja need määrati C = N sideme venitus või amiidi II järgi. Järgmine ühend määrati

1454 cm^{-1} juures näitab CH₂ ja CH₃ asümeetrilist C-H sideme painutust, mis võib tähistada polüsahhariide (Türker-Kaya & Huck, 2017). C-H sümmeetriline painutus 1394 cm^{-1} tippu juures võib ka iseloomustada polüsahhariide (Christophe et al., 1994; Sain & Panthapulakkal, 2006). Tippu 1238 cm^{-1} juures saab määrata C=O sideme venitusele, mida võib tõlgendada ka pektiinainena (Türker-Kaya & Huck, 2017). Viimane ja kõrgeim tipp 1050 cm^{-1} juures näitab hüdroksüülrühma või C-OH sideme venitusprotsessi olemasolu polüsahhariidide määramiseks (Trinsoutrot *et al.*, 2001).



Joonis 1. Katses kasutatud vahekultuuride külmkuivatatud juureeritiste (nisu, rukis, raps, kanep ja oder) koostise tulemused FT-IR spektromeetril.

2. 5. Mullaagregaatide stabiilsus

Inkubeeritud muld võeti silindritest välja ja murendati käsitsi ning lasti toatemperatuuril kuivada. Kuiv proov (ligi 100g) pandi erinevate suuruste avadega sõelte (> 5-3-2-1-0,5-0,25 mm) peale mullaagregaatide suuruste osakaalu määramiseks. Mulla sõelade komplekt kinnitati loksutile (GFL 3006, Lauda Dr. R. Wobser GmbH & Co. KG, Lauda-Königshofen, Saksamaa), millel loksutati kiirusel 250 rpm 2 cm amplituudiga 6 minutit. Igalt sõelalt kogutud muld kaaluti ja arvutati protsent mulla massist. Tulemusi arvestades jagati mikroagregaatideks (<0,25 mm), väikesteks makroagregaatideks (2-0,25 mm) ja suurteks makroagregaatideks (> 2 mm).

Mullaagregaatide stabiilsuse (ingl. k. Wet aggregate stability ehk WSA) määramine baseerub Kemper ja Rosenau meetodil (1986). Mullaagregaatide stabiilsuse mõõtmiseks kombineeriti

iga agregaatide suuruste osad ja nende töötused keskmisteks proovideks suured makroagregaadid >2 mm suurustega ja väikesed makroagregaadid suurusega 2-0,25 mm. Suurte makroagregaatide stabiilsuse määramiseks kasutati 4 g mulda ja väikeste makroagregaatide stabiilsuse määramiseks kasutati 2 g. Väikeste makroagregaatide vähese osakaalu tõttu ei saanud piisavate korduste jaoks suuremat proovikogust võtta. Mullaproovid kanti sõeltele avadega 0,25mm, mida loksutati 3 minutit destilleeritud vees märgsõelumisaparaadiga (Eijkelkamp, Giesbeek, Holland). Seejärel vahetati veega anumad nõudega, milles oli 0,4 % NaOH lahus ning loksutati kuni mulla orgaaniline aine osa oli lahustunud. Mõlemate vee ja NaOH lahusega anumad kuivatati veevannil 95°C juures 12 tundi ning seejärel kuivatati 105°C juures ahjus ühe tunni. Mullaagregaatide stabiilsuse protsent leiti järgneva valemi järgi:

CNaOH lahuse anumatesse järele jäänud mass jagati destilleeritud anuma ja NaOH lahuse anumasse sisalduva massi kaalu summaga. Eelnevalt lahutati NaOH lahusega anumasse oleva massilt lahutati lahustunud aine kaal (0,4 g).

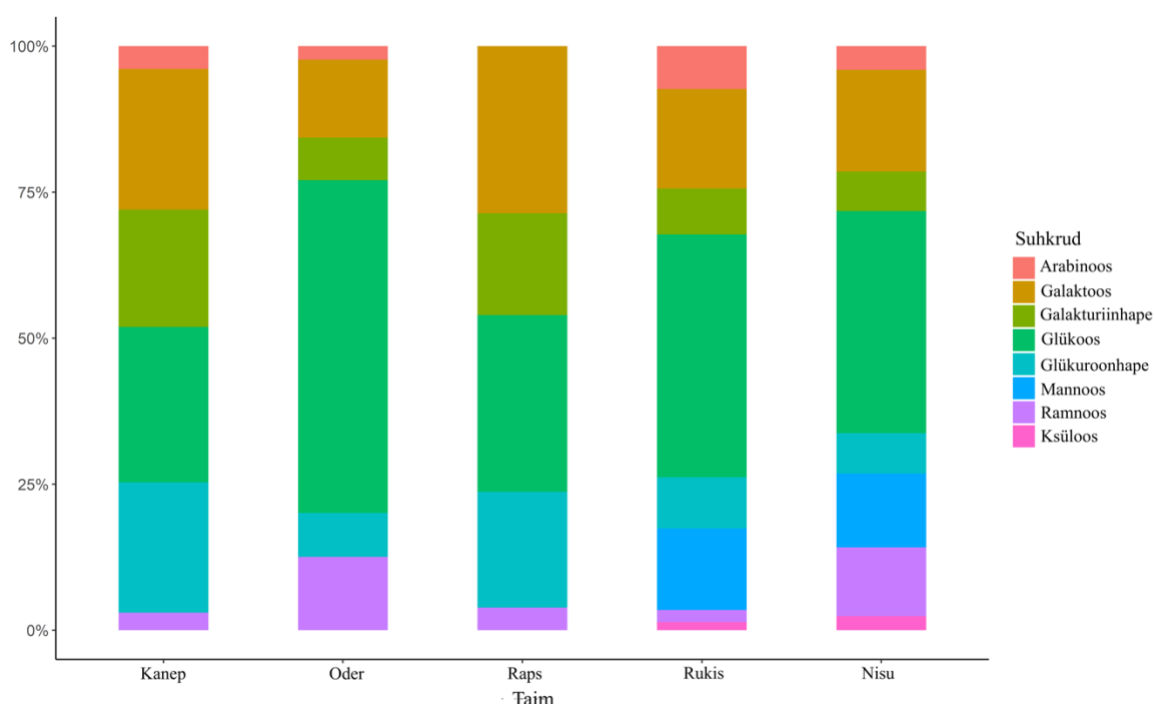
2. 6. Andmeanalüüs

Statistilisi olulisuseid analüüsiti ühefaktorilise disoersioonanalüüsi (ANOVA) teel taime juureeritiste üldsüsiniku ja -lämmastiku, suhkrulise koostise ja funktsionaalrühmade erinevused vahekultuuride juureeritiste vahel. Samuti kasutati ühefaktorilise dispersioonanalüüsi, et kontrollida mulla agrekaatide suuruse jaotuse ja agrekaatide stabiilsuse erineva töötuse ja inkubatsiooni perioodi vahel statistilist olulisust. Dispersioonanalüüsile järgnes ka Tukey HSD test. Andmeid analüüsiti statistilise R tarkvara abil (R core team, 2019) ja Microsoft Excel. Tulemuste normaalsust kontrolliti Kolmogorovi-Smirnovi testiga.

3. TULEMUSED

3. 1. Juureeritiste keemiline koostis

Suhkrute koostises võib üldiselt näha heksooside nagu glükoosi, mannoosi ja galaktoosi ülekalaalu pentoosidest ja uroonhapetest. Visuaalsel hindamisel võib näha sarnasusi kanepi ja rapsi taimede juureeritiste suhkrulise koostise osakaaludes, kuid rapsi taime juureeritised ei sisalda arabinoosi (Joonis 2). Teraviljadel on sarnane koostis, millest odral on kõige erinevam, sest ei sisalda ksüloosi ja glükoosi sisaldus on kõrgem teistest. Glükoosi on kõigis juureeritistes kõige rohkem.



Joonis 2. Külmuivatatud juureeritiste monosahhariidide ja uroonhapete koostis ning suhteline jaotus.

Juureeritistes on mitu korda rohkem süsiniku võrreldes lämmastikuga (Tabel 2). Kõige kõrgem lämmastiku sisaldus on rapsil, madalam on teraviljadel nagu rukis ja nisu. Süsiniku sisaldus on suhteliselt ühtlasel kõrge teraviljade ja rapsi juureeritistes ja vähem on kanepi seemnetes. Süsiniku ja lämmastiku suhe on kõrgem teraviljades, kõrgeim nisos, ja väiksem süsiniku ja lämmastiku suhe on võrdselt kanepi ja rapsi juureeritistes.

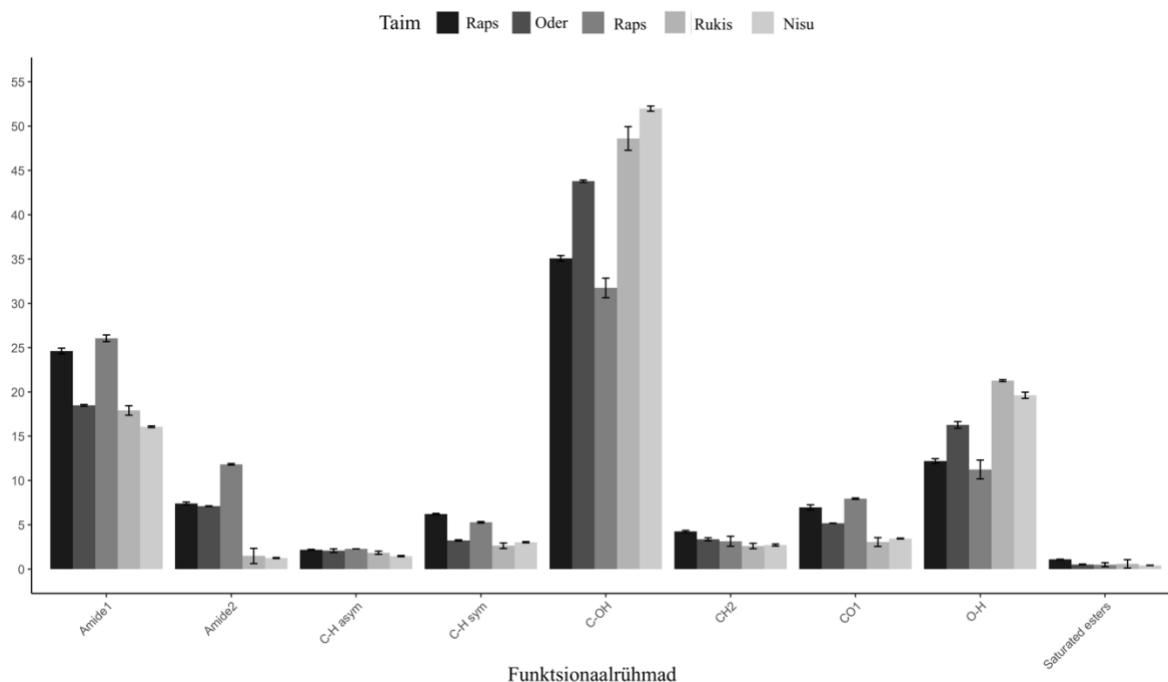
Tabel 4. Üldlämmastiku ja -süsiniku sisaldused juureeritistes ja nende suhe.

Taimeliik	Lämmastik (keskmise)(%)	Süsinik (keskmise) (%)	C:N suhe
Rukis	4,5 (±0,13)	36,8 (±0,28)	8 (±0,17)

Raps	8,0 ($\pm 0,23$)	36,5 ($\pm 0,66$)	5 ($\pm 0,05$)
Kanep	6,5 ($\pm 0,11$)	32,0 ($\pm 0,06$)	5 ($\pm 0,08$)
Oder	5,5 ($\pm 0,08$)	38,1 ($\pm 0,02$)	7 ($\pm 0,10$)
Nisu	4,4 ($\pm 0,01$)	37,4 ($\pm 0,10$)	9 ($\pm 0,05$)
Kogu keskmine	5,774	36,152	6,636025426

Funktsionaalrühmad

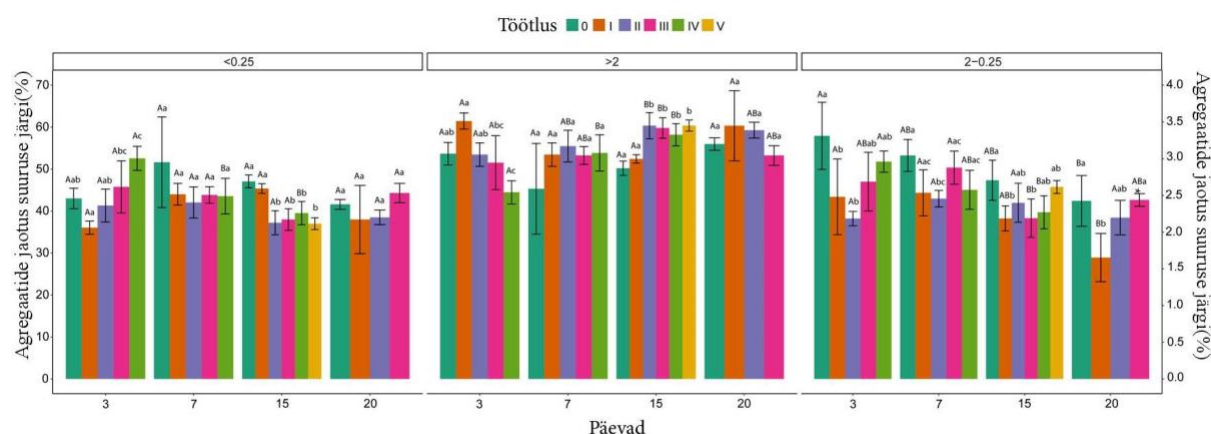
C-OH tähistab polüsahhariide (Trinsoutrot *et al.*, 2001), mis varieeriub kultuuriti olles kõrgeim nisul ja madalaim rapsil ning ka kanepil on madalam kui teistel (Joonis 3). Ja peaaegu vastupidiselt on amiidide ehk Amide I neelduvused, kus kõrgeimad on rapsil ja kanepil ning madalaimad teraviljadel ja nisul. Amiidid tähistavad valke ja pektiine (Amide I) (Türker-Kaya & Huck, 2017). Hüdroksüülrühm tähistab O-H neeldavused on kõrgemad teraviljadel, enim rukkil, ja madalam rapsil ja kanepil. CH₂ tähistab lipiide, mille neelduvused on kõrgemad rapsi ja kanepi juureeritistes ja teraviljadest odral (Türker-Kaya & Huck, 2017).



Joonis 3. Juureeritiste (nisu; rukis; raps; kanep; oder) funktsionaalrühmade suhteline jaotus FTIR analüüsi põhjal. Veariba on tulemuste keskmise standartviga. (Tukey's HSD test, $P < 0.05$).

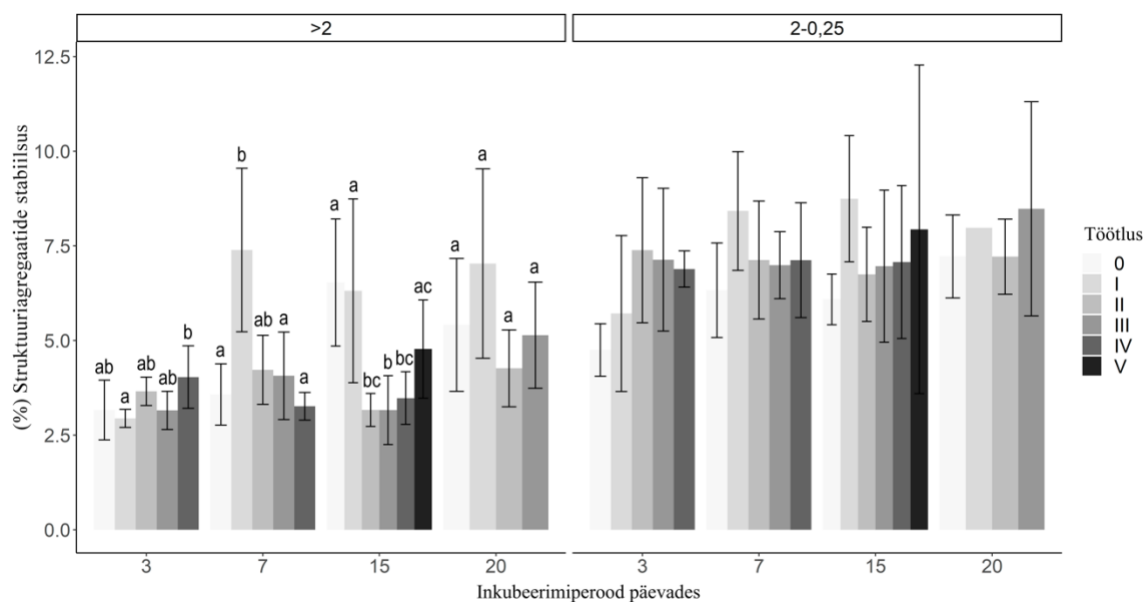
3. 2. Agregaatide stabiilsus

Enim on moodustunud suuri makroagregaate (> 2 mm) ja seejärel mikroagregaate ($> 0,25$ mm) ja vähem on moodustunud väikeseid makroagregaate ($2-0,25$ mm) (Joonis 4). Suurimaid kõikumisi on väikeste makroagregaatide seas, kus rukki juureeritistega töödeldud mullas on kõige vähem moodustunud väikeseid makroagregaate. Kui üldiselt on lühema perioodi inkubeeritud mikroagregaatide ja väikeste makroagregaatide jaotused kõrgemad siis suurte makroagregaatide osa on tõusnud pikemal inkubeerimisel.



Joonis 4. Mulla mikroagregaatide ($<0,25$ mm), suurte makroagregaatide (>2 mm) ja väikeste makroagregaatide ($2 - 0,25$ mm) suhteline jaotus peale inkubatsiooni perioode erinevate töötlustega (0 – kontroll variant ilma lisatud juureeritisteta; I – rukki juureeritistega segatud muld; II – nisu juureeritistega segatud muld; III – odra juureeritistega segatud muld; IV – rapsi juureeritistega segatud muld; V – kanepi juureeritistega segatud muld). Veariba on keskmise standartviga. Suured tähed vearibade kohal tähistavad olulist erinevust sama töötluse ja agregaadid suuruse ning inkubeerimis perioodide vahel. Väikesed tähed vearibade kohal näitavad olulist erinevust töötluste vahel (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

Suurte makroagregaatide hulgas on suuremad vees stabiilsete struktuuriagregaatide varieeruvused ning võib märgata destabiliseerivat efekti, kui väikeste makroagregaatide hulgas on märgata ühtlasemat struktuuriagregaatide stabiliseerivust (Joonis 5). Väikeste makroagregaatide proovide vähesuse tõttu ei ole aga tulemustel statistiliselt olulisi erinevusi.



Joonis 5. Suurte makroagregaatide (>2mm) ja väikeste makroagregaatide (2-0,25mm) mulla struktuuriagregaadid stabiilsus erinevates töötlustes (0 – kontroll variant; I* – rukki juureeritistega segatud muld; II – nisu juureeritistega segatud muld; III – odra juureeritistega segatud muld; IV – rapsi juureeritistega segatud muld; V – kanepi juureeritistega segatud muld). Veariba on keskmise standartviga. Väikeste tähed vearibade kohal tähistavad olulisi erinevusi töötluste vahel (Tukey's HSD test, $P < 0.05$). * 20 inkubeerimispäeva katse materjali oli ühe proovi jaoks ($N=1$).

Rukki taime juureeritistega töödeldud mulla stabiilsus kõigub kolmanda ja 15-nda päeval kergelt madalamale kui kontroll variant kuid seitsmendal ja 20-ndal päeval on näha kõige suuremat stabiliseerivat mõju mulla suurtele makroagregaatidele. Teiste taimede juureeritistega töötluste mõju võib märgata kolme inkubeerimispäevaga väikest stabiliseerivat mõju ning järgnevatel perioodidel pigem destabiliseerivat efekti.

15 päeva inkubeeritud töötluste stabiilsused suurtel makroagregaatidel ja väikestel makroagregaatidel on sarnased, suurte makroagregaatide kontroll variant on ebakorrapäraselt kõrgem kuid võiks siiski oletada, et ka kanepil on veidi kõrgem stabiliseeriv mõju.

4. ARUTLUS

Enim moodustus mulla suuri makroagregaate (>2 mm), moodustades üle poole jaotusest, mille järel oli kohe mikroagregaatide ($<0,25$ mm) osa. Kõige väiksem oli väikeste makroagregaatide (2-0,25 mm) osakaal. Katseks purustati lõhkumaks eelnevad agregaatide sidemed ja steriliseeriti muld, et eraldada seente ja bakterite mõju. Kuna aga katse inkubeerimis perioodil ei mõõdetud, kas mikrobaalset tegevust toimus ei saa kindlalt väita mulla steriilsust vaid eeldada, sest katse materjal steriliseeriti. Agregaatide moodustamist eeldatavalt mõjutas savi osakesed ja orgaaniline aine, mida lisati juureeritiste näol ning eeldatavalt võiks avaldada efekti (Oades & Waters, 1991). Juureeritistes sisaldanud enim glükoosi, mille kleepuv mõju võib mulla osakesi omavahel siduda.

Mulla mikroagregaadid on suhteliselt stabiilsed, mida võib mõjutada mehaaniline energia ja vähe mõjutatav mulla orgaanilise sisaldusest ega taime juurtest ja vastupidiselt mõjutavad makroagregaate stabiilsust põhiliselt juured ja (seente) hüphee (Tisdall & Oades, 1982) või polüsahhariidid (Morel *et al.*, 1991; Tisdall & Oades, 1982), mida võivad toota taime juured, mullas olevad bakterid ja seened (Akhtar *et al.*, 2018). Kusjuures juurte ja hüüfide hävides hakkab makroagregaatide stabiilsus langema (Oades & Waters, 1991; Tisdall & Oades, 1982). Katses jaotati makroagregaadid suuremateks kui 2mm ehk suured makroagregaadid ja 2 kuni 0,25 mm suurused ehk väikesed makroagregaadid.

Lühemat perioodi inkubeeritud mikroagregaatide ja väikeste makroagregaatide jaotused olid kõrgemad ning pikemal inkubeerimis perioodil kasvab suurte makroagregaatide osa, mida võib kirjeldada, et alguses moodustuvad mikroagregaadid, millest moodustuvad makroagregaadid (Tisdall & Oades, 1982).

Vees stabiilsed struktuuragregaatide sisaldused olid kõrgemad väikeste makroagregaatide hulgas ja visuaalselt võib näha juureeritiste stabiliseerivat mõju, millel aga puudub statistiline usutavus väikse proovide korduste arvu tõttu kuna seda fraktsiooni oli väike kogus.

Suurte makroagregaatide varieeruvused olid suuremad kui väikestel makroagregaatidel ja mõne töötamise puhul võis märgata destabiliseerivat efekti. Kontrolli suurem kõikumine suurte makroagregaatide hulgas 15. päeval võis olla põhjustatud sinna rohkem sattunud saviosakeste liitumisel agregaatideks (Tisdall & Oades, 1982). Töötlustest kõige selgemini võib näha rukki taime juureeritiste mõjul stabiliseerivat efekti makroagregaatidele, mida kõige selgemini on näha seitse päeva inkubeeritud proovidel. Üldiselt teraviljade juureeritistega töödeldud

proovide stabiilsuse mõju tõuseb seitsmenda päevani ja edasi hakkab kergelt langema. Rapsi juureeritistega töödeldud proovide stabiilsus on kõrgeim kolmandal päeval inkubatsioonist võttes ja edasi võib täheldada stabiilsuse langemist. Juureeritiste koostise poolest suuremad erinevused funktsionaalrühmade järgi on valgu sisaldused kõrgemad kanepil ja rapsil ning vastupidiselt on polüsahhariidide sisaldused teraviljades kõrgemad. Sarnaselt jagunevad ka süsiniku ja lämmastiku sisaldused ning suhkrute keemilised koostised ja nende jaotused erinevad mõneti ka teraviljadel ja kanepil ning rapsil. Üldiselt võib teistes uurimustes ka märgata tulemuste muutlike varieeruvust kuna tegureid, mis mõjutavad agregaatide stabiilsust on palju.

Üldisemalt sisaldavad katses kasutatud taimede juureeritised enim heksoose nagu glükoos ja galaktoos ning kõrgeim neeldumine FT-IR analüüsi järgi oli C-OH rühmas, mis kirjeldab polüsahhariide (Trinsoutrot *et al.*, 2001).

Enamus töid (Akhtar *et al.*, 2018; Reid & Goss, 1981) viitavad mulla stabiilsust mõjutavad juureeritistes sisalduvad polüsahhariidid, kuid mõni töö viitab ka stabiliseeriva mõju seosele valkudega (Redmile-Gordon *et al.*, 2020), mille päritolu olevat mikroobne kuid omas tugevamat seost stabiliseeriva efektiga.

Käesoleva katses oli juureeritiste kogused väikesed ning see tõttu võisid suuremat mõju avaldada agregaatide moodustumisel ja nende stabiilsusele teised tegurid nagu liiva ja savi sisaldused mullas, üldsüsiniku sisaldus ja vesi. Katses kasutatud mulla liiva sisaldus oli 56% ning kõrgema liiva sisaldusega muldade stabiilsus langeb tõenäolisemalt kui savisematel muldadel (Boix-Fayos *et al.*, 2001; Spaccini *et al.*, 2001). Samuti on märgatud seost mulla süsiniku sisalduse ja stabiilsuse vahelist positiivset seost (Boix-Fayos *et al.*, 2001).

Kui tuua siia kõrvale sama mulla tüübilt mõõdetud (Are *et al.*, 2018; Sanchez de Cima, 2016) põllutingimuste stabiilsused siis need numbrid kõikusid 50-60 % ümber kui võrrelda käesoleva katse tulemustega, kus kasutati samadelt põldudelt mulda ning uuriti laboritingimustes ühe faktori mõju mulla agregaatide stabiilsusele ja tulemused saadi kõikuvalt keskmise 7% ümber.

Sanchez de Cima (2016) töös märgati, et võrreldes kontrolliga oli vahekultuure kasvatatud mulla vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus väiksem ning tema pakkus selle põhjuse olevat teatud katioonide rohkuse, mis lagundab struktuuriagregaadid, mida aga mina oma uurimus töös ei uurinud. Uuritavas katses ei olnud selgelt vahekultuuride juureeritiste destabiliseerivat efekti näha seega ei saa järeldada destabiliseerivat mõju avaldavad

vahekultuuride juureeritised. Seega on vaja edasised uurimused leidmaks seletusi sellele nähtusele.

Tehtud uurimustöö tulemused on labori katsed seega võivad anda aimu ühe faktori mõjust kuid ei hõlma kõiki mõjureid seega ei saa neid kõrvutada põllul toimuvaga.

Katses kasutatud juureeritiste kogumis meetod sobib keemiliseks analüüsiks milleks sellised kogused on piisavad, kuid mitte piisavad katseteks mullaga. Praeguse töö puhul kasutati vähem juureeritisi kui teistes uuringutes (Morel *et al.*, 1991) seega võiks korrata katset suuremate mahtudega, et saada kindlamaid tulemusi, mida saaks võrrelda ka käesolevatega. Lihtsustamaks suuremate juureeritiste kogustega katseteks võib sarnaselt mõnede (Langarica-Fuentes *et al.*, 2018; Traoré *et al.*, 2000; Zhu *et al.*, 2018) uurimustele luua uuritud juureeritiste jäljendavad kunstlikud juureeritised. Edasi uurida ka juureeritiste koostise muutumisi sõltuvalt vanusest ja keskkonnast ning püüda koguda juureeritisi mullas kasvavalt taimelt. Kuid katse uurib vaid juureeritiste otsest mõju seega võiks laiendada mõju tegureid uurida ka põllutingimustes vahekultuuride mõjust mullastabiilsusele ja vaadelda erinevatel mulla tüüpidel tulemusi.

KOKKUVÕTE

Uurimus töös uuriti vahekultuuride nagu rukis, oder, raps ja talvel põldu katva põhikultuuri näol nisu ning uuema kultuurina Eestis kanep. Suuremad erinevused koostiste osas olid teraviljadel ja rapsi ning kanepi vahel. Suhkrute koostised leidsid enim heksoose nagu glükoosi ja galaktoosi ning kõigis leidsid veel ramnoosi ja uroonhappeid nagu galükuroonhape ja galaktruinhape. Polüsahariidide kõrget sisaldust näitas ka FT-IR analüüsi tulemused. Juureeritiste keemilise analüüsi tulemustel oli statistiliselt usutavad.

Rukki juureeritiste suhkrute koostis on sarnane nisu omale sisaldades arabinoosi ja ksüloosi kuid ramnoosi on nisus rohkem. Süsiniku lämmastiku suhe on kõrgeim nisul ja ka rukkil. Rukki taime juureeritistega töödeldud proovid olid kontrollist kõrgemad 7. ja 20. päeval, viimasel aga ei omanud statistilist erinevust nagu ka 15.päeval, mis on kõige lähemal stabiliseerivale mõjule.

Odra juureeritistes ei leidu ksüloosi ja glükoosi sisaldus on suurim teiste uuritute seast. Odral on kõrgeim süsiniku sisaldus ja teiste teraviljadega sarnaselt madalam lämmastiku sisaldus. Odral juureeritistega töödeldud proovide vees stabiilsete agregaatide protsendid olid kontrollidest ühe erandiga madalamad.

Rapsil ja kanepil on suurem uroonhapete sisaldus kui teraviljadel ja suhkrute jaotused on võrdsemad. Rapsi juureeritistes ei sisaldu arabinoosi ega ksüloosi. Võrreldes teraviljadega on kõrgeim rapsil lämmastiku sisaldus ja ka kanepil on teraviljadest enam lämmastiku ning vähim süsiniku. Kui teraviljadel pigem oli 7.päeval kõrgem stabiilsete agregaatide protsent siis rapsi juureeritistega töödeldud proovid olid kõrgeimad kolmandal päeval ning edaspidi langesid.

Käesoleva bakalaureusetöö tulemused ei andnud kinnitust sissejuhatuses püstitatud hüpoteesidele. Visuaalsel hindamisel võis näha juureeritistega töödeldud mullal väikeste makroagregaatide kõrgemat vees stabiilsete agregaatide protsenti, millel aga ei ole statistiliselt usutavaid erinevusi. Suurtel makroagregaatide stabiilsustes aga ei leidunud seoseid juureeritistega töödeldud proovide stabiliseerivast mõjust ega destabiliseerivast efekti seost kindla kultuuriga. Samuti ei leitud korrelatsiooni juureeritiste koostise ja nende mõju vahel.

Arvatavasti mõjutasid käesolevas katses teised tegurid nagu liiva ja savi sisaldused stabiilsust rohkem kui juureeritised.

Leidmaks juureeritiste mõju mulla agregaatide stabiilsusele on vajalik edasised uurimised, kus võib suurendada juureeritiste koguseid saamaks rohkem andmeid analüüsiks, mis näitaks tulemusi.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Akhtar, J., Galloway, A. F., Nikolopoulos, G., Field, K. J., & Knox, P.** (2018). A quantitative method for the high throughput screening for the soil adhesion properties of plant and microbial polysaccharides and exudates. *Plant and Soil*, 428(1–2), 57–65. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3670-1>
- Alemdar, A., & Sain, M.** (2008). Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues - Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*, 99(6), 1664–1671. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.029>
- Angers, D. A., & Caron, J.** (1998). *Plant-induced changes on soil structure: Process and feedbacks*.
- Are, M., Kaart, T., Selge, A., Astover, A., & Reintam, E.** (2018). The interaction of soil aggregate stability with other soil properties as influenced by manure and nitrogen fertilization. *Zemdirbyste*, 105(3), 195–202. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.025>
- Aulakh, M. S., Wassmann, R., Bueno, C., Kreuzwieser, J., & Rennenberg, H.** (2001). Erratum: Characterization of root exudates at different growth stages of fen rice (*Oryza sativa* L.) cultivars (Plant Biology 3 (139-148)). *Plant Biology*, 3(3), 298. <https://doi.org/10.1055/s-2001-15205>
- Barão, L., Alaoui, A., Ferreira, C., Basch, G., Schwilch, G., Geissen, V., Sukkel, W., Lemesle, J., Garcia-Orenes, F., Morugán-Coronado, A., Mataix-Solera, J., Kosmas, C., Glavan, M., Pintar, M., Tóth, B., Hermann, T., Vizitiu, O. P., Lipiec, J., Reintam, E., ... Wang, F.** (2019). Assessment of promising agricultural management practices. *Science of the Total Environment*, 649, 610–619. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.257>
- Benizri, E., Nguyen, C., Piutti, S., Slezack-Deschaumes, S., & Philippot, L.** (2007). Additions of maize root mucilage to soil changed the structure of the bacterial community. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(5), 1230–1233. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.026>
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., & Imeson, A.** (2001). Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena*, 44, 47–67. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00176-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4)
- Carminati, A., & Vetterlein, D.** (2013). Plasticity of rhizosphere hydraulic properties as a key for efficient utilization of scarce resources. *Annals of Botany*, 112(2), 277–290. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs262>
- Chen, G., & Weil, R. R.** (2010). Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant and Soil*, 331(1), 31–43. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0223-7>
- Christophe, F., Séné, B., Mccann, M. C., Wilson, R. H., & Crinter, R.** (1994). Fourier-Transform Raman and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy '. *Plant Physiology*, 106, 1623–1631.

- Czarnes, S., Hallett, P. D., Bengough, A. G., & Young, I. M.** (2000). Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. *European Journal of Soil Science*, 51(3), 435–443. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00327.x>
- Foltz, M. E., Kent, A. D., Koloutsou-Vakakis, S., & Zilles, J. L.** (2021). Influence of rye cover cropping on denitrification potential and year-round field N₂O emissions. *Science of the Total Environment*, 765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144295>
- García-González, I., Hontoria, C., Gabriel, J. L., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M.** (2018). Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. *Geoderma*, 322(February), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.024>
- Gerzabek, M. H., Antil, R. S., Kögel-Knabner, I., Knicker, H., Kirchmann, H., & Haberhauer, G.** (2006). How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: A spectroscopic approach. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 485–494. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00794.x>
- Jensen, D., Höfler, F., Ezzell, J., & Richter, B.** (1996). Rapid preparation of environmental samples by accelerated solvent extraction (ASE). *Polycyclic Aromatic Compounds*, 9(1–4), 233–240. <https://doi.org/10.1080/10406639608031223>
- Kallis, A., Rosin, K., Pärnpuu, P., Loodla, K., & Šišova, V.** (2019). 100 aastat Eesti ilma (teenistust). Keskkonnaagentuur.
- Kuijken, R. C. P., Snel, J. F. H., Heddes, M. M., Bouwmeester, H. J., & Marcelis, L. F. M.** (2015). The importance of a sterile rhizosphere when phenotyping for root exudation. *Plant and Soil*, 387(1–2), 131–142. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2283-6>
- Lal, R., & Shukla, M. K.** (2004). *Principles of soil physics*. Marcel dekker, INC.
- Langarica-Fuentes, A., Manrubia, M., Giles, M. E., Mitchell, S., & Daniell, T. J.** (2018). Effect of model root exudate on denitrifier community dynamics and activity at different water-filled pore space levels in a fertilised soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(February), 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.034>
- Li, Q., Liu, G. Bin, Zhang, Z., Tuo, D. F., Bai, R. ru, & Qiao, F. fang.** (2017). Relative contribution of root physical enlacing and biochemical exudates to soil erosion resistance in the Loess soil. *Catena*, 153, 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.037>
- Luik, A., Talgre, L., Eremeev, V., Sanches de Cima, D., Reintam, E.** (2014). Talvised vahekultuurid parandavad külvikorras mulda. – Teaduselt mahepõllumajandusele. Konverentsi toimetised. Tartu, lk 56–59.
- Morel, J. L., Habib, L., Plantureux, S., & Guckert, A.** (1991). Influence of maize root mucilage on soil aggregate stability. *Plant and Soil*, 136(1), 111–119. <https://doi.org/10.1007/BF02465226>
- Nazari, M., Riebeling, S., Banfield, C. C., Akale, A., Crosta, M., Mason-Jones, K., Dippold, M. A., & Ahmed, M. A.** (2020). Mucilage Polysaccharide Composition and Exudation in Maize From

- Contrasting Climatic Regions. *Frontiers in Plant Science*, 11(December), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587610>
- Naveed, M., Brown, L. K., Raffan, A. C., George, T. S., Bengough, A. G., Roose, T., Sinclair, I., Koebernick, N., Cooper, L., & Hallett, P. D.** (2018). Rhizosphere-Scale Quantification of Hydraulic and Mechanical Properties of Soil Impacted by Root and Seed Exudates. *Vadose Zone Journal*, 17(1), 170083. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.04.0083>
- Neumann, G., Bott, S., Ohler, M. A., Mock, H. P., Lippmann, R., Grosch, R., & Smalla, K.** (2014). Root exudation and root development of lettuce (*lactuca sativa* l. Cv. Tizian) as affected by different soils. *Frontiers in Microbiology*, 5(JAN), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00002>
- Nguyen, C.** (2003). Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie*, 23, 407–418. <https://doi.org/10.1051/agro>
- Oades, J. M., & Waters, A. G.** (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6), 815–825. <https://doi.org/10.1071/SR9910815>
- Oburger, E., & Jones, D. L.** (2018). Sampling root exudates – Mission impossible? *Rhizosphere*, 6(June), 116–133. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.06.004>
- Oleghe, E., Naveed, M., Baggs, E. M., & Hallett, P. D.** (2017). Plant exudates improve the mechanical conditions for root penetration through compacted soils. *Plant and Soil*, 421(1–2), 19–30. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3424-5>
- Palmeos, H.** (2014). *Viljelussüsteemide mõju umbrohtumusele mahekülvikorras*. Tartu.
- Pappas, C., Tarantilis, P. A., & Polissiou, M.** (1998). Determination of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) lignin in crude plant material using diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 52(11), 1399–1402. <https://doi.org/10.1366/0003702981943013>
- Preece, C., & Peñuelas, J.** (2020). A Return to the Wild: Root Exudates and Food Security. *Trends in Plant Science*, 25(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.09.010>
- Redmile-Gordon, M., Gregory, A. S., White, R. P., & Watts, C. W.** (2020). Soil organic carbon, extracellular polymeric substances (EPS), and soil structural stability as affected by previous and current land-use. *Geoderma*, 363(January), 114143. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114143>
- Reid, J. B., & Goss, M. J.** (1981). Effect of Living Roots of Different Plant Species on the Aggregate Stability of Two Arable Soils. *Journal of Soil Science*, 32(4), 521–541. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1981.tb01727.x>
- Reiss, A., Fomsgaard, I. S., Mathiassen, S. K., & Kudsk, P.** (2018). Weed suppressive traits of winter cereals: Allelopathy and competition. *Biochemical Systematics and Ecology*, 76, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.12.001>
- Rovira, A. D., & Ridge, E. H.** (1973). Exudation of ¹⁴C-labelled compounds from wheat roots: influence of nutrients, micro-organisms and added organisms and added organic compounds. *New Phytologist*, 72(5), 1081–1087. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1973.tb02085.x>

- Sain, M., & Panthapulakkal, S.** (2006). Bioprocess preparation of wheat straw fibers and their characterization. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.01.006>
- Sanchez de Cima, D.** (2016). Soil properties affected by cover crops and fertilization in a crop rotation experiment.
- Spaccini, R., Zena, A., Igwe, C. A., Mbagwu, J. S. C., & Piccolo, A.** (2001). Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. *Biogeochemistry*, 53(1), 1–22. <https://doi.org/10.1023/A:1010714919306>
- Zhu, H., Zhang, L., Li, S., Wang, Y., Sun, S., Chen, J., Kou, S., Jin, Q., & Xiao, M.** (2018). The rhizosphere and root exudates of maize seedlings drive plasmid mobilization in soil. *Applied Soil Ecology*, 124(November 2017), 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.039>
- Zickenrott, I. M., Woche, S. K., Bachmann, J., Ahmed, M. A., & Vetterlein, D.** (2016). An efficient method for the collection of root mucilage from different plant species—A case study on the effect of mucilage on soil water repellency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(2), 294–302. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500511>
- Talgre, L., Ereemeev, V., Reintam, E., Tein, B., Sanches de Cima, D., Madsen, H., Alaru, M., Luik, A.** (2015). Talvised vahekultuurid parandavad mulda ja kultuuride saagikust. – *Agronomia 2015. /Toim. Alaru, M, Astover, A.,i Karp, K., Viiralt, R. Must, A. Kogumik Tartu: Ecoprint AS, lk 40-44.*
- Talgre, L., Luik, A.** (2018). Haljasväetis - mullaviljakuse parandaja. Toim. E. Peetsmann. Eesti Maaülikool. 26 lk
- Tisdall, J. M., & Oades, J. M.** (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- Traoré, O., Groleau-Renaud, V., Plantureux, S., Tubeileh, A., & Boeuf-Tremblay, V.** (2000). Effect of root mucilage and modelled root exudates on soil structure. *European Journal of Soil Science*, 51(4), 575–581. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2000.00348.x>
- Trinsoutrot, I., Jocteur Monrozier, L., Cellier, J., Waton, H., Alamercery, S., & Nicolardot, B.** (2001). Assessment of the biochemical composition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) ¹³C-labelled residues by global methods, FTIR and ¹³C NMR CP/MAS. *Plant and Soil*, 234(1), 61–72. <https://doi.org/10.1023/A:1010549224003>
- Türker-Kaya, S., & Huck, C. W.** (2017). A review of mid-infrared and near-infrared imaging: Principles, concepts and applications in plant tissue analysis. *Molecules*, 22(1). <https://doi.org/10.3390/molecules22010168>

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks (avaldamise tähtajaline piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____ Linne_Johanna_Timmerman_____,
(*autori nimi*)

sünniaeg 02.03.1999,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____Juureeritiste mõju mulla struktuuriagregaatide stabiilsusele_____,
lõputöö pealkiri

mille juhendaja(d) on _____ Endla Reintam_____,
juhendaja(te) nimi

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu lõppemist kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, ____20.05.2021_____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

____20.05.2021_____
(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)